BESTIMMUNG

DER

POTENTIALDIFFERENZEN

WELCHE ZU EINER FUNKENBILDUNG IN LUFT
ZWISCHEN VERSCHIEDENEN ELECTRODENARTEN
ERFORDERLICH SIND.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

MATHEMATISCHEN UND NATURWISSENSCHAFTLICHEN FACULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

JOHANNES FREYBERG,
ASSISTENT AM PHYSIKAL. LABORATORIUM DES KÖNIGL. POLYTECHNIKUMS
ZU DRESDEN.

MIT EINER TAFEL.

LEIPZIG,
JOHANN AMBROSIUS BARTH.
1889.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhaltsübersicht.

		Seite
	Einleitung	5
I.	Die Methode der Bestimmung	6
II.	Versuchsanordnung zur Messung von Electricitätsmengen	9
	Beobachtungen	13
III.	Capacität der Versuchsbatterie	13
IV.	Entladungsmenge und Schlagweite zwischen verschiedenen Electroden	15
	a. Kugeln	16
	b. Platten	21
	c. Spitzen	22
V.	Die resultirenden Potentialdifferenzen	23
VI.	Vergleich der Resultate verschiedener Beobachter	28

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41542721_0147

Einleitung.

Von den bereits vorliegenden Untersuchungen über den Gegenstand dieser Arbeit sind die älteren ausnahmslos mit dem absoluten Electrometer von Thomson, diejenigen aus neuerer Zeit mehrfach mit einem geaichten Righi'schen Reflexionselectrometer ausgeführt worden.[1]) Die Ergebnisse dieser Arbeiten weichen nicht unerheblich voneinander ab.[2])

Die vorliegende Experimentaluntersuchung hatte den Zweck, durch anderweitige Versuche nach einem von dem früher angewendeten verschiedenen Verfahren eine neue Bestimmung der Potentialwerthe vorzunehmen, und zwar für Funkenentladungen zwischen verschiedenen Electrodenpaaren und für Schlagweiten, wie solche mit den gewöhnlichen experimentellen Hülfsmitteln erreicht werden. Das Ziel der Arbeit bildete in der Hauptsache die Aufstellung einer Tabelle, aus welcher für eine bestimmte Schlagweite zwischen Electroden von gebräuchlicher Form und Dimension die zur Entstehung eines Funkens erforderliche Potentialdifferenz direct entnommen werden kann. Der Nutzen einer solchen möglichst vollständigen und zuverlässigen Zahlenzusammenstellung liegt auf der Hand.

Meinem hochverehrten Lehrer und Vorgesetzten, Hrn. Geh. Hofrath Prof. Dr. A. Toepler, auf dessen Wunsch ich diese Experimentaluntersuchung ausführte, bleibe ich für

---

1) Wiedemann's Lehre von der Electricität enthält eine kritische Zusammenstellung dieser Untersuchungen im Bd. IV, p. 649 und in den Nachträgen auf p. 1273 u. 1339. An Arbeiten, die nach Abschluss (Juni 1888) der vorliegenden erschienen, sind noch zu erwähnen: Liebig Phil. Mag. (5) **24**. p. 106. 1887. Jaumann, Wien. Ber. II. Abth. **97**. p. 765. 1888. Paschen, Wied. Ann. **37**. p. 69. 1889.

2) Eine Erklärung hierfür enthält die bereits citirte Arbeit von G. Jaumann.

die hierbei, wie in der ganzen Zeit unseres Zusammenarbeitens empfangene Anregung und Förderung zu grossem Danke verpflichtet.

I. Die Methode der Bestimmung.

Stehen zwei isolirte Electroden mit den Belegungen eines Condensators mit grosser Oberfläche in Verbindung, so kann die auf den Electroden durch eine entsprechende Condensatorladung erzeugte und zu einem Funken Anlass gebende Potentialdifferenz $V_1 - V_2$ als proportional mit der electrischen Ladungsmenge angesehen, ihr Werth demnach aus der Kenntniss der Ladung Q und der Condensatorcapacität $\varkappa$ nach der Beziehung:

$$V_1 - V_2 = \frac{Q}{\varkappa}$$

indirect hergeleitet werden. Die Grössen Q und $\varkappa$ lassen sich experimentell nach verschiedenen Methoden ermitteln; in der vorliegenden Arbeit ist dies auf galvanometrischem Wege geschehen.

P. Riess und insbesondere A. v. Oettingen haben bewiesen, dass mit Hülfe eines Galvanometers die Ladung eines Condensators bestimmt werden kann, wie auch der Schliessungsbogen beschaffen, welcher Art also die Entladung auch sein mag. Ein zu solchen Bestimmungen geeignetes Galvanometer muss einmal hinreichend isolirte Windungen besitzen, sodass ein Uebergang der Electricität zwischen denselben ausgeschlossen ist, sodann muss es eine genügend grosse Schwingungsdauer haben, damit die Dauer der vorkommenden Entladungen ohne Einfluss, und ein sicheres Ablesen der Ausschläge überhaupt möglich ist. Mit geeigneten Windungen versehene ballistische Galvanometer eignen sich hiernach besonders zu dergleichen Messungen.

Bedeutet für ein gedämpftes Galvanometer:

C den Reductionsfactor,

T die Schwingungsdauer,

λ das natürliche logarithmische Decrement,

δ das Dämpfungsverhältniss,

α den Ausschlag der Magnetnadel, welcher bei der Entladung einer Electricitätsmenge Q beobachtet wird (gemessen

als Scalenausschlag n, getheilt durch den doppelten Scalenabstand a),

so ist:
$$Q = CT \frac{e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\pi}{\lambda}}}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} . \alpha.$$

Bei einer Dämpfung von wenigen Procenten kann mit genügender Genauigkeit gesetzt werden:
$$Q = \frac{CT}{\pi}\left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)\alpha = \frac{CT\sqrt{\delta}}{\pi} . \alpha.$$

Die Absolutbestimmung der Electricitätsmenge Q setzt also ausser der Beobachtung des Ausschlages α die experimentelle Bestimmung der für das benutzte Galvanometer geltenden Constanten C, T und δ voraus. Man erhält die Electricitätsmenge in Coulombs, wenn man den Reductionsfactor in Ampères und die Schwingungsdauer in Secunden misst.

Nach Zusammenfassung der Constanten in obiger Formel ergibt sich die für Messung verschiedener Electricitätsmengen vermittelst desselben Instruments bequeme Form:
$$Q = \frac{CT\sqrt{\delta}}{2\pi a} . n = k . n,$$

wobei in der Constanten k der Scalenabstand a in derselben Einheit wie der Scalenausschlag n einzuführen ist.

Auf eine derartige Absolutbestimmung einer Electricitätsmenge kommt es auch bei der zur Auswerthung der Condensatorcapacität $\varkappa$ verwendeten Methode hinaus. Die Ermittelung der gesuchten Potentialdifferenzen geschieht somit nach einer galvanometrischen Methode.

Von der gesammten, einem Condensator bei dessen Ladung zugeführten Electricitätsmenge verschwindet infolge der Absorptions- und Leitungsfähigkeit des Dielectricums ein Theil zeitweilig oder dauernd. Der andere Theil der Ladung bewirkt die zu einer Funkenbildung zwischen bestimmten Electroden erforderliche Potentialdifferenz der Condensatorbelege. Nur diese letztere Menge, die im Augenblick der Funkenentladung „disponible Ladung“ Q ist zu messen.[1]) Dieselbe setzt sich zusammen aus der im Funken übergehenden Menge q_1 und der Grösse des unmittelbar nach der

1) R. Kohlrausch, Pogg. Ann. **91.** p. 64. 1854.

Funkenentladung im Condensator enthaltenen „Entladungsrückstandes“ q_2. — Aus verschiedenen Gründen erfolgte die Messung von q_1 und q_2 in zwei getrennten Schliessungskreisen durch je ein Galvanometer, also in ähnlicher Weise, wie A. v. Oettingen bei der von ihm unternommenen Prüfung des Schlagweitengesetzes verfuhr.[1])

Die beiden Schliessungskreise wurden, den mir zur Verfügung stehenden Galvanometern entsprechend, geeignet hergestellt. Die im Funken übergehende Menge q_1 sollte gering sein; der Eintritt der Funkenentladung und damit der Beginn der Ablenkung des im ersten Schliessungsbogen eingeschalteten Galvanometers sollte nur das Signal zu der möglichst rasch darauf folgenden Entladung des grösseren Antheiles q_2 geben. Da nun die Schlagweite von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens nicht beeinflusst wird, und die Einwirkung auf das Galvanometer nur von der entladenen Electricitätsmenge abhängt, so konnte obigen Anforderungen leicht genügt werden. Durch Einschaltung eines beträchtlichen Flüssigkeitswiderstandes in den Funkenentladungskreis wurde die Menge q_2 möglichst vergrössert; zur Messung des kleinen Antheils q_1 fand das empfindlichere der beiden Galvanometer Verwendung.

In dem Umstande, dass die Messung von q_1 und q_2 nicht gleichzeitig im Augenblick der Funkenbildung vorgenommen wird, liegt ein Mangel der Methode. In der zwischen dem Auftreten des Funkens und der Entladung von q_2 verstreichenden Zeit verschwindet durch Rückstandsbildung ein gewisser Theil von q_2 und geht für dessen Messung verloren, weshalb der Ausschlag n_2 etwas zu klein ausfallen wird. Die Grösse des verlorenen Antheils hängt ausser von der verstrichenen Zeit vornehmlich von der Beschaffenheit der Versuchsbatterie ab; derselbe kann experimentell bestimmt werden, um durch eine Correction den richtigen Werth von n_2 herleiten zu können. Bei vielfach wiederholter Ausführung der Entladungsbeobachtungen lässt sich der Einfluss des erwähnten Mangels durch rasches Operiren — das bei der Verwendung von zwei Galvanometern, die beide aus der

1) A. v. Oettingen, Pogg. Ann. Jubelbd. p. 275. 1874.

Ruhelage abgelenkt werden, möglich ist — bis auf ein Minimum bringen, sodass im Hinblick auf die bei Messung statischer Electricitätsmengen auftretenden Schwankungen von einer Correction der Ausschläge n_2 zumeist abgesehen werden kann.

Aus den nach der erläuterten Methode bestimmten Electricitätsmengen:

$$Q = q_1 + q_2 = k_1 n_1 + k_2 n_2$$

und der nach bekanntem Verfahren[1]) ermittelten Capacität $\varkappa$ der Versuchsbatterie ist dann die einer bestimmten Schlagweite entsprechende Potentialdifferenz zu berechnen.

II. Versuchsanordnung zur Messung von Electricitätsmengen.

Die allgemeine Versuchsanordnung hierzu zeigt schematisch Fig. 1. Es bedeutet darin B den Condensator, und zwar eine Leydener Batterie, deren Belegungen durch zwei Schliessungskreise untereinander verbunden sind. In dem einen derselben war ein Funkenmikrometer F, ein Widerstand W_1 und ein Galvanometer G_1, im anderen eine Entladevorrichtung E und gleichfalls ein grosser Widerstand W_2 und ein Galvanometer G_2 eingeschaltet. Die Versuchsbatterie war vor Bestrahlung durch Licht geschützt und verblieb während der ganzen Benutzungszeit am nämlichen Aufstellungsorte. Die isolirte innere Belegung stand mit dem einen Pol P einer Electrisirmaschine M in Verbindung. Durch einen dazwischen geschalteten Fallapparat U war die Möglichkeit gegeben, den die Batterie ladenden Maschinenstrom sofort unterbrechen zu können, wodurch dann gleichzeitig die Maschine in sich geschlossen wurde.

Auf vorzügliche Isolation der ganzen Aufstellung, insbesondere der bis zu den Galvanometern führenden Theile der Entladungskreise war besondere Sorgfalt verwendet worden. Es war im Dunkeln keine electrische Ausstrahlung wahrnehmbar, als die Versuchsbatterie zu den höchsten vorkommenden Potentialen geladen wurde.

Ueber die in der Versuchsaufstellung verwendeten Hülfsapparate sei Folgendes bemerkt.

---

1) Siehe F. Kohlrausch's Leitfaden der prakt. Phys. Art. 86.

Die Versuchsbatterie. Dieselbe war eine neue Form Leydener Batterien und in der nachfolgend beschriebenen Weise nach Angabe von Prof. Toepler bereits im Jahre 1880 angefertigt worden. Fig. 2 gibt von einer solchen Toepler'schen Schachtel- oder Cylinderbatterie ein Bild. Dieselbe besteht gewöhnlich aus acht ineinander stehenden cylindrischen Glasgefässen von gleicher Höhe, aber abnehmendem Durchmesser. Jedes einzelne dieser Batteriegläser ist wie eine gewöhnliche Leydener Flasche mit Stanniol belegt. Bei der Zusammensetzung einer solchen Batterie kommt die innere Belegung eines Batterieglases mit der äusseren des nächst engeren durch die Bodenbelegung in Berührung. Auf diese Weise entstehen zusammenhängende Belegflächen, welche durch alternirende Verbindung aufeinanderfolgender Belege zu zwei Gruppen vereinigt werden. Drähte mit gut isolirender Hülle, zwischen aufeinanderfolgende Batteriegläser eingeführt, vermitteln den Contact unter den zu einer Gruppe gehörigen Belegen, und zwar empfiehlt es sich, diese Drähte an ihren unteren Enden zur Erzielung einer zuverlässigen Berührung mit federnden Blechstreifen, oder besser noch mit Pinseln aus silberumsponnenen Fäden, die bis auf die Flaschenböden reichen, zu versehen. Die oberen Enden zusammengehöriger Zuleitungsdrähte werden etwas über den Flaschenrändern durch Zusammendrehen verbunden und mit kugelförmigen Conductoren passend abgeschlossen. Letztere gestatten durch Ansatzstücke und Klemmschrauben eine bequeme Verbindung der beiden Batteriebelegungen mit Zuleitungen von aussen her. Die ineinandergesetzten Batteriegläser stehen in einem hölzernen Untersatz, dessen innerer, mit Stanniol belegter Boden Contact mit einer aussen befindlichen Klemmschraube besitzt.

Diese Art Leydener Batterie hat den grossen Vortheil, dass sie bei verhältnissmässig beträchtlicher Capacität nur sehr wenig Raum beansprucht, daher auch vor Bestaubung leicht zu bewahren ist. — Wie nebenbei bemerkt sein mag, hat eine solche Schachtelbatterie eine etwas kleinere Capacität als bei einer Hintereinanderschaltung in der gewöhnlichen Weise.

Bei der hier benutzten Schachtelbatterie besass das

weiteste Glas 20 cm, das engste 10 cm Durchmesser; die Höhe der Belegungen betrug 40 cm bei einer Gesammthöhe der Gläser von ca. 60 cm. Dieser Condensator hat 1,7 qm einseitige Belegung und bedeckt, im zugehörigen Untersatz stehend, weniger als $^1/_{16}$ qm Bodenfläche. Das Gewicht der Batterie betrug 13 kg. Derartige Toepler'sche Schachtelbatterien werden in dem mechanischen Institute von O. Leuner am Polytechnikum in Dresden hergestellt.

Die Spiegelgalvanometer G_1 und G_2. Das im Funkenentladungskreise verwendete Galvanometer G_1 war ein Instrument alter Construction, fast ungedämpft. Nach Verwendung eines Multiplicators mit geeigneten Windungen von insgesammt 6,5 Ohm Widerstand und Anbringung einer schwachen Luftdämpfung nach Toepler'schem System wurde das Galvanometer recht brauchbar. Die Luftdämpfung zeigte sich über Erwarten constant und genügend für die beabsichtigte Verwendung. G_2 war Wiedemann'scher Construction. Die Galvanometerrollen waren in einfacher Weise geeignet hergestellt worden. Auf hölzernen Führungsschlitten befestigte Elementengläser mittlerer Grösse waren aussen und innen mit je einer Windungslage von 0,7 mm starkem Kupferdraht versehen worden. Letzterer besass eine Kautschukhülle und war ausserdem in Paraffin eingebettet. Der Widerstand einer Rolle betrug 1,2 Ohm.

Für die Constanten der Galvanometer fand sich im Mittel:

Reductionsfactor	$C_1 = 0{,}00137$ Amp.	$C_2 = 0{,}0116$ Amp.
Schwingungsdauer	$T_1 = 7{,}04$ Sec.	$T_2 = 4{,}45$ Sec.
Dämpfungsverhältnis	$\delta_1 = 1{,}225$	$\delta_2 = 1{,}313$.

Der Abstand zwischen Spiegel und Scala betrug je 1800 mm; die Ablesung der Ausschläge fand vom nämlichen Standpunkte des Beobachters aus statt. Aus den vorstehenden Zahlen ergibt sich: $k_1 = 94 \cdot 10^{-8}$ und $k_2 = 523 \cdot 10^{-8}$.

Das Funkenmikrometer F gestattete, die Schlagweite bis auf $^1/_{10}$ mm zu messen. Um auch die kleinste einzustellende Funkenstrecke — das war 1 mm — wenigstens bis auf 1 Proc. zuverlässig messen zu können, wurde ein Mikroskop mit Mikrometer verwendet. Bei Einstellung der Schlagweiten wurde die Berührung der Electroden stets mit Hülfe

von Galvanoskop und Element electrisch constatirt. Die verwendeten Electroden waren messingene Kugeln, Spitzen und Platten. Kleine Kugeln und die Spitzen sassen an entsprechend dünnen Zuleitungen.

Die Widerstände. U-förmig gebogene Röhren mit Wasser oder verdünnter Kupfervitriollösung gefüllt, bildeten die Flüssigkeitswiderstände W_1 und W_2, deren Grösse 30000, bezw. 3000 Ohms betrug. Durch die Einschaltung dieser Widerstände wurde eine zweckmässige Vertheilung der Electricitätsmengen q_1 und q_2 erreicht, und die Gefahr einer Durchdringung der Galvanometerwindungen, der Veränderung des Nadelmagnetismus, wie der Corrosion der Electroden durch die Entladungsfunken am Funkenmesser, beseitigt.

Zu der Entladevorrichtung E hatte ein Riess'scher Entlader, als Unterbrechungsapparat U eine alte Cuthbertson'sche Wage Verwendung gefunden. Beide Vorrichtungen konnten vom Sitze des Beobachters aus gehandhabt werden.

Die Electricitätsquelle. Die Ladung der Versuchsbatterie wurde durch eine Toepler'sche Influenzmaschine mit zwanzig rotirenden Scheiben bewirkt. Diese Maschine wurde durch einen kleinen Wassermotor (von Schmid in Zürich) bewegt. Die Regulirung der dem Motor in einem gewöhnlichen Druckschlauch zufliessenden Wassermenge konnte vom Sitze des Beobachters aus leicht bewirkt und somit ein sehr gleichmässiger Gang der Influenzmaschine erzielt werden.

Zur Ausführung der Beobachtungen vorliegender Arbeit ist diese Maschine in Summa ungefähr 60 Stunden ohne jede Betriebsstörung benutzt worden.

Unter Benutzung der vorbeschriebenen Versuchsaufstellung gestaltete sich der Gang der Entladungsbeobachtungen folgendermassen. Nach Einstellung der Schlagweite am Funkenmesser wurde durch den Wassermotor die Influenzmaschine in gleichmässige Rotation versetzt, alsdann die Verbindung zwischen der ladenden Maschine und der inneren Batteriebelegung hergestellt und im Augenblicke der Funkenbildung zwischen den Electroden unterbrochen. Nach Ablesung des Ausschlags n_1 wurde sogleich durch Abziehen der Fallvorrichtung E der Entladungsrückstand q_2 durch das

Galvanometer G_2 entladen und der Ausschlag n_2 bestimmt. Der metallische Contact bei der Entladung von q_2 währte nur ganz kurze Zeit, um nur q_2, nicht auch die als „wiederauftretender Rückstand“ aus dem Dielectricum kommende Ladungsmenge zu messen. Die zwischen dem Auftreten des Funkens und der Entladung von q_2 verstrichene Zeit betrug durchschnittlich 7 Secunden.

Nach Einstellung der Galvanometer in ihre Ruhelage konnte zu einer Wiederholung der Beobachtung geschritten werden.

Beobachtungen.

Dieselben beziehen sich im wesentlichen auf Messungen von Electricitätsmengen unter Verwendung der vorbeschriebenen Versuchsanordnung. Vorangestellt sind die zur Capacitätsauswerthung der verwendeten Leydener Batterie nothwendigen Daten. Zahlreiche Beobachtungen, welche ausgeführt waren, um über die Güte und Verwendbarkeit der Versuchsbatterie Aufschluss zu erhalten, namentlich hinsichtlich der Isolations- und Rückstandsverhältnisse, sind hier ganz weggelassen worden. Desgleichen wurde von der Wiedergabe verschiedener Hülfsbeobachtungen, wie der einfachen Bestimmung von Reductionsfactoren mit dem Silbervoltameter, der fortgesetzten Controle dieser Werthe durch ihre Vergleichung, der Prüfung der Proportionalität zwischen Ladungsmenge und Potentialdifferenz bei der Capacitätsbestimmung u. a. m., abgesehen.

Sämmtliche Beobachtungen wurden während der Wintersemester 1886/87 und 1887/88 im physikalischen Laboratorium des Königl. Polytechnikums zu Dresden ausgeführt, und zwar in einem Raume desselben, welcher recht gleichmässig warm erhalten werden konnte, dessen Luft jedoch etwas über normal trocken war.

III. Capacität der Versuchsbatterie.

Die wahre Capacität eines Condensators ist das Verhältniss seiner disponiblen Ladung zur Potentialdifferenz der Belegungen. Dieser hier in Betracht kommende Werth, der also die Capacität mit Ausschluss des Rückstandes misst,

kann somit durch Messung der in einem Stromstoss abfliessenden Electricitätsmenge unter gleichzeitiger Bestimmung der herrschenden Potentialdifferenz erhalten werden. Derartige Capacitätsbestimmungen werden unter Zuhülfenahme einer galvanischen Kette von bekannter electromotorischer Kraft E vermittelst des Galvanometers ausgeführt. Zu diesem Zwecke wurden die Belege der Versuchsbatterie B durch zwei Schliessungskreise, welche bezw. die ladende Kette oder das Galvanometer enthielten, derart verbunden, dass nach erfolgter Ladung die disponible Menge Q sogleich durch das Galvanometer entladen werden konnte. Die gesuchte Capacität $\varkappa$ ergibt sich alsdann nach der Beziehung $\varkappa = Q/E$ in Farads, wenn Q nach einer der Formeln auf p. 7 in Coulombs und E in Volts gemessen wird. — Die Gültigkeit der Proportionalität zwischen der Ladungsmenge und der Potentialdifferenz wurde für die benutzte Schachtelbatterie bis zu 50 Volts erwiesen.

Bestimmungen und einfache Controlen des Capacitätswerthes nach dieser Methode wurden bei der Wichtigkeit desselben während der Benutzungszeit ausgeführt.

Zur Ladung von B wurde stets eine grössere Anzahl (gewöhnlich vierzig Stück) Daniell'sche Elemente verwendet, welche nach den von Kittler gegebenen Vorschriften zusammengesetzt waren. Die electromotorische Kraft der ladenden Kette wurde mit einem Siemens'schen Torsionsgalvanometer gemessen. Das zur Beobachtung des Ausschlages bei Entladung der Batterie dienende Galvanometer besass ein astatisches System und einen Multiplicator mit 16000 Windungen in fünf getrennten Lagen, die in beliebiger Schaltung verwendet werden konnten. Um dieses Instrument zu charakterisiren, gebe ich die Mittel aus der mehrfachen Bestimmung der Constanten:

Reductionsfactor	$C = 456 . 10^{-7}$ Amp.
Schwingungsdauer	$T = 10{,}6$ Secunden.
Dämpfungsverhältniss	$\delta = 1{,}308$.

Der Reductionsfactor wurde vermittelst des Silbervoltameters, die Schwingungsdauer mit Hülfe eines Fuess'schen Chronographen bestimmt. Die Messung des Galvanometerausschlags bei Entladung der Batterie geschah selbst-

verständlich unter Commutation des Entladungsstromes. Zur Herbeiführung einer gewissen Gleichmässigkeit wurde die Ladungsdauer auf drei volle Minuten bemessen, die Entladung aber in sehr kurzer Zeit vorgenommen.

Fand in dieser Weise die Ladung der Schachtelbatterie mit vierzig Daniell'schen Elementen statt, so bewirkte die im ersten Stromstoss abfliessende Electricitätsmenge einen mittleren Ausschlag von 75,3 mm an der in 3030 mm Abstand vom Spiegel stehenden Scala. Mit Hülfe der angegebenen Galvanometerconstanten rechnet sich alsdann:

$$Q = 219 . 10^{-8} \text{ Coulomb.}$$

Drei vollständige, im Laufe der Benutzung der Batterie ausgeführte Capacitätsbestimmungen ergaben:

$$\begin{aligned} x &= 517 . 10^{-10} \text{ Farad} \\ &\quad 475 . \\ &\quad 481 . \\ \hline x &= 491 . 10^{-10} \text{ Farad} = 44\,200 \text{ electrostat. Cap.-Einh.} \end{aligned}$$

IV. Entladungsmenge und Schlagweite zwischen verschiedenen Electroden.

Zu diesen Entladungsbeobachtungen fand die im Abschnitt II beschriebene Anordnung (p. 9) Verwendung. Die Versuchsbatterie wurde dabei stets positiv geladen und ihre äussere Belegung dauernd mit der Erde verbunden. Am Funkenmesser fanden stets zwei congruente Electroden Verwendung. Die zwischen einem solchen Electrodenpaare herzustellende Schlagweite wurde, von 0,1 cm beginnend, soweit wie thunlich vergrössert, und zwar vielfach bis eine Selbstentladung der Batterie über deren 20 cm breiten, unbelegten Rand hinweg auszubrechen drohte. Durch einige Vorversuche war die hierzu erforderliche Potentialdifferenz angenähert zu 45 000 Volts bestimmt worden. Die sämmtlichen bei den Entladungsbeobachtungen erzielten Potentialdifferenzen halten sich unter dieser Grenze, da Selbstentladungen der Batterie möglichst vermieden wurden. Nach einer solchen lag immerhin die Möglichkeit vor, dass durch den dabei auftretenden Funken eine Schmelzung an den Contactstellen zwischen den Stanniolbelegungen und Zuleitungsdrähten, und somit eine Aenderung der Batteriecapacität

stattgefunden haben konnte, was alsdann jedesmal eine Controle der Capacität erforderte.

Alle bei den Messungen eingetretenen Entladungen waren zufolge der Beschaffenheit des Schliessungsbogens verzögert.

Die Berechnung (vgl. p. 7, 9 und 11) der entladenen Electricitätsmengen in Coulombs aus den in Millimetern gemessenen, event. reducirten Scalenausschlägen n_1 und n_2 erfolgte nach der Formel:

$$Q = q_1 + q_2 = 94 \,.\, 10^{-8} \,.\, n_1 + 523 \,.\, 10^{-8} \,.\, n_2.$$

Die Entladungsmenge Q wurde für jedes Electrodenpaar und jede erreichte Schlagweite aus mehreren Beobachtungssätzen mit je sechs Einzelbeobachtungen hergeleitet. Diese Bestimmungen verlaufen je nach der am Funkenmesser verwendeten Electrodengattung verschieden.

a) Kugeln. — Dieselben waren sorgfältig aus Messing abgedreht und sehr gut polirt worden. Nur nach mehrmaligen Entladungen grosser Electricitätsmengen war an den Electroden ein Einfluss des verzögerten Entladungsfunkens bemerkbar; alsdann wurden frische Stellen der Kugeln einander gegenübergestellt. Angewendet wurden überhaupt Kugelelectroden von sechs verschiedenen Grössen, und zwar von 0,5, 0,75, 1, 2, 4 und 6 cm Durchmesser.

Einen aus der grossen Anzahl willkürlich herausgegriffenen Beobachtungssatz gibt die Tabelle 1 wieder. Dieselbe enthält in den ersten beiden Columnen die reducirten Galvanometerausschläge in Millimetern, sodann die daraus berechneten Electricitätsmengen in Coulombs mit 10^7 multiplicirt.

Tabelle 1.

Kugeln von 2 cm Durchm. Schlagweite = 0,7 cm.

Scalenausschlag		Electricitätsmenge		
n_1	n_2	$10^7 \,.\, q_1$	$10^7 \,.\, q_2$	$10^7 \,.\, Q$
125,0	180,5	1175	9440	10615
78,0	199,0	733	10408	11141
178,9	180,2	1681	9425	11106
191,8	174,7	1803	9137	10940
183,6	175,8	1726	9194	10920
184,3	179,2	1732	9372	11105
			Mittel:	10971

Die Scalenausschläge n_1 und n_2 lassen zur Genüge die auftretenden Schwankungen, wie solche bei Versuchen mit statischer Electricität immer vorkommen, erkennen. Veranlasst durch verschiedene Umstände und Zufälligkeiten, geht bei der Entladung in der Funkenstrecke etwas mehr oder weniger über, demzufolge auch der andere Entladungsbetrag q_2 verschieden gross ausfällt. Die gesammte Entladungsmenge Q wird dennoch angenähert constant. Im vorliegenden Beobachtungssatze macht die grösste Abweichung der einzelnen Werthe für $10^7 . Q$ von ihrem Mittel $^1/_{30}$ desselben aus. Um diesen Betrag schwanken die Einzelwerthe von Q bei allen zwischen Kugelelectroden normal verlaufenden Entladungsbeobachtungen. Die Mittel aus verschiedenen solchen Beobachtungssätzen stimmen natürlich besser überein. So ergaben z. B. vier, mit Kugeln von 6 cm Durchmesser bei 0,1 cm Schlagweite angestellte Beobachtungssätze für $10^7 . Q$ die Werthe:

2212, 2193, 2260, 2240, Gesammtmittel: 2226.

Die grösste Abweichung der einzelnen Mittel vom gesammten beträgt hiernach $1^1/_2$ Proc. des letzteren.

Tabelle 2.

Kugeln von 6 cm Durchm. Schlagweite = 0,5 cm

Scalenausschlag		Electricitätsmenge		
n_1	n_2	$10^7 . q_1$	$10^7 . q_2$	$10^7 . Q$
329,4	93,7	3096	4901	7997
348,5	93,2	3276	4874	8150
344,0	91,2	3234	4770	8003
149,5	118,5	1405	6198	7603
150,9	114,0	1418	5966	7381
166,2	114,0	1562	5966	7524
138,8	120,1	1258	6281	7539

Einige mal trat während eines Beobachtungssatzes ohne zunächst erkennbare Ursache eine Anomalie ein. Es änderten sich plötzlich die Ausschläge n_1 und n_2 weit über die gewöhnlich vorkommenden Schwankungen hinaus, blieben alsdann aber in derselben Weise constant wie vorher. Tabelle 2 zeigt einen solchen Beobachtungssatz, in dem nach der dritten Entladung eine derartige sprungweise Aenderung eintrat. Es wird die im Funken übergehende Menge nur

etwa halb so gross als vorher; die andere Theilmenge q_2 wird zwar etwas grösser als zuvor, doch erreicht die Gesammtsumme Q nicht die Höhe wie bei den drei ersten Versuchen. Die Entladung fand demnach zuletzt bei einem niedrigeren Potential statt, was durch Anflug von Staub oder Fasern, welche als Spitzen wirkten, verursacht sein konnte. Dergleichen Beobachtungssätze haben keine weitere Verwerthung gefunden. Nach dem Eintritt einer solchen Abweichung wurden die Electroden abgenommen und nach sorgfältigem Reinigen zu neuen Versuchen verwendet, die alsdann wieder regelmässig vor sich gingen. — Dem gesammten Verlauf der Entladungsbeobachtungen für alle erreichten Schlagweiten bei Benutzung eines und desselben Electrodenpaares lässt die Tabelle 3 erkennen, und zwar für zwei verschieden grosse Kugelpaare.

Tabelle 3.

Schlagweite in cm d	Kugeln von 1 cm Durchmesser Scalenausschl. n_1	n_2	Electricitätsmenge $10^6.q_1$	$10^6.q_2$	$10^6.Q$	Kugeln von 6 cm Durchmesser Scalenausschl. n_1	n_2	Electricitätsmenge $10^6.q_1$	$10^6.q_2$	$10^6.Q$
0,1	39,2	36,7	37	192	229	30,8	37,0	29	194	223
0,2	129,0	66,1	121	346	467	54,0	64,2	51	336	387
0,3	91,2	93,3	86	488	574	85,2	83,1	80	435	515
0,4	84,0	116,0	79	607	686	200,6	83,6	189	438	626
0,5	119,4	136,3	112	713	825	232,4	110,2	218	587	805
0,6	136,5	156,2	128	817	945	204,5	143,5	192	751	943
0,7	131,1	173,4	123	907	1030	225,2	171,5	212	897	1109
0,8	274,8	168,5	258	881	1140	352,5	180,8	331	946	1277
0,9	279,3	185,4	263	970	1232	415,4	195,5	390	1022	1413
1,0	140,8	216,6	132	1133	1265	502,8	206,4	473	1079	1552
1,1	158,5	219,8	149	1150	1299	435,0	230,3	408	1204	1613
1,2	124,5	236,8	117	1238	1355	400,3	253,6	376	1326	1703
1,3	111,8	244,2	105	1277	1382	327,5	286,0	308	1496	1804
1,4	94,8	250,7	89	1311	1400	461,6	305,4	434	1597	2031
1,5	59,8	266,5	56	1394	1450					
1,6	52,1	280,3	49	1466	1515					
1,7	52,1	300,0	49	1569	1618					
1,8	44,4	316,4	42	1655	1697					
2,0	33,2	326,0	31	1705	1736					
2,2	32,4	332,1	30	1737	1767					
2,4	31,0	343,5	29	1797	1826					

Vorstehende Versuchsreihen lassen ein verschiedenes Verhalten erkennen, das aus ihrer graphischen Darstellung in den Figuren 3 und 4 besonders hervortritt. Für die kleineren Kugelelectroden (bis zu einem Durchmesser von etwa

1,5 cm) gestaltet sich die Entladung bei dem gegebenen Schliessungskreise im grossen und ganzen folgendermassen: Mit wachsender Schlagweite wird die im Funken übergehende Menge q_1 anfangs gleichfalls grösser, nimmt aber nach Erreichung eines Maximalwerthes erst rasch, dann langsam ab, während der Entladungsrückstand q_2 fortgesetzt anwächst. Die Gesammtmenge Q zeigt daher bei kleinen Kugeln für kleine Schlagweiten ein rascheres Anwachsen, als für grössere Funkenstrecken.

Bei Kugelelectroden von grösserem Durchmesser zeigen beide Electricitätsmengen q_1 und q_2 mit zunehmender Schlagweite ein fortgesetztes, verschieden schnelles Anwachsen, und zwar derart, dass die resultirende Summe Q von der Proportionalität mit der Schlagweite nicht gar zu sehr abweicht.

Ein ähnliches Verhalten, wie es vorstehend für zwei Electrodenpaare erkannt wurde, zeigen auch die übrigen zwischen Kugeln anderer Grösse angestellten Entladungsversuche. Von diesen gibt die Tabelle 4 (p. 20) als Endergebniss den Werth $10^6 . Q$ für jede erreichte Funkenlänge und jedes benutzte Kugelpaar. — Aus dieser Zusammenstellung ist das verschieden rasche Wachsthum von Q für die einzelnen Kugelpaare ersichtlich. Eine einfache Proportionalität zwischen Schlagweite und disponibler Ladung besteht im allgemeinen nicht. Die graphische Deutung der gegebenen Zahlen — die Schlagweiten als Abscissen, die Electricitätsmengen als Ordinaten aufgetragen — ergibt Curven, die mit Hyperbelzweigen etwas Aehnlichkeit haben, keineswegs aber mit solchen identificirt werden können. Für ganz grosse Electroden nähern sich diese Curven mehr und mehr einer Geraden. Fasst man ferner eine Horizontalreihe der Tab. 4 ins Auge, so zeigt sich, dass es für jede Funkenstrecke ein Paar Kugelelectroden gibt, für welches die Entladungsmenge Q ein Maximum wird, und zwar kommt dasselbe bei zunehmender Schlagweite für immer grösser werdende Kugeln zu Stande, wie J. B. Baille zuerst zeigte.

An dieser Stelle mag noch Erwähnung finden, dass vor Ausführung der soeben wiedergegebenen Entladungsbeobachtungen etliche Versuchsreihen angestellt wurden, bei welchen die innere Batteriebelegung abwechselnd positive oder nega-

Tabelle 4.

Kugeln.

Schlagweite in cm	Electricitätsmenge 10^6. Q in Coulombs Kugeldurchmesser in cm					
	0,50	0,75	1,0	2,0	4,0	6,0
0,1	248	—	229	224	—	223
0,2	421	478	467	427	411	387
0,3	547	616	574	567	549	515
0,4	665	691	686	707	699	626
0,5	743	814	825	837	817	805
0,6	814	904	945	955	986	943
0,7	880	976	1030	1106	1138	1109
0,8	902	1027	1140	1209	1268	1277
0,9	946	1044	1232	1337	1367	1413
1,0	957	1087	1265	1426	1467	1552
1,1	973	1127	1299	1518	1566	1613
1,2	1048	1216	1355	1604	1680	1703
1,3	1082	1267	1382	—	—	1804
1,4	1105	1286	1400	—	—	2031
1,5	1132	1336	1450	—	—	—
1,6	1144	1390	1515	—	—	—
1,8	1169	1404	1697	—	—	—
2,0	1206	1430	1736	—	—	—
2,2	1261	1448	1767	—	—	—
2,4	1305	1476	1826	—	—	—
2,6	1346	1497	—	—	—	—
2,8	1370	1514	—	—	—	—
3,0	1393	1530	—	—	—	—
3,5	1432	1566	—	—	—	—
4,0	1453	1591	—	—	—	—
4,5	1467	1642	—	—	—	—
5,0	1507	1673	—	—	—	—

tive Ladung erhielt. Es schien geboten, zunächst festzustellen, ob unter sonst gleichen Umständen die Art der Batterieladung einen quantitativen Unterschied bedingt. Zur experimentellen Entscheidung der angeregten Frage diente die auf p. 9 beschriebene Versuchsanordnung, nur war zwischen der ladenden Maschine M und dem Unterbrechungsapparat U noch ein geeigneter Stromwender eingeschaltet worden. Aus mehrfachen Versuchsreihen, bei welchen Kugelpaare verschiedener Grösse Verwendung fanden, konnte ein quantitativ verschiedenes Verhalten der Electricitäten nicht entscheidend gefolgert werden. Die sich ergebenden Unterschiede liegen innerhalb der bei den einzelnen Beobachtungssätzen vorkommenden $\pm$ Schwankungen. Nur die mit kleinen Kugeln von 0,75 cm Durchmesser bei 0,5, 1 und 2 cm

Funkenstrecke angestellten Entladungen verliefen in gleichem Sinne, und zwar sagen sie aus, dass bei einer positiven Ladung eine grössere Electricitätsmenge zu einer Funkenentladung erforderlich ist, als bei einer negativen. Dasselbe Ergebniss fand bereits Belli bei Verwendung ungleicher Kugelelectroden.

Wie schon zu Anfang dieses Abschnitts erwähnt wurde, erhielt die innere Belegung der Versuchsbatterie bei allen späterhin zur Bestimmung der Potentiale dienenden Messungen von Q eine positive Ladung.

b) Platten. — Von allen Electrodenarten sind Platten zuerst und am häufigsten benutzt worden, um die zu einer Funkenbildung zwischen denselben nöthige Potentialdifferenz zu ermitteln. Mit kreisförmigen, an ihrer Peripherie mit einem Wulst versehenen messingenen Platten von 10 cm Durchmesser wurden einige Beobachtungssätze ausgeführt, um die schon vorhandenen Resultate anderer Beobachter mit den nach der galvanometrischen Methode erzielten späterhin vergleichen zu können.

Tabelle 5.

Platten.

Schlagw. in cm	Scalenausschlag		Electricitätsmenge		
	n_1	n_2	$10^6 . q_1$	$10^6 . q_2$	$10^6 . Q$
0,1	39,3	33,7	37	176	213
0,2	40,5	63,5	38	332	370
0,3	78,9	86,0	74	450	524
0,4	127,9	105,3	120	551	671
0,5	160,6	124,1	151	649	800
0,6	201,0	142,8	189	747	936
0,8	179,6	197,4	169	1032	1201
1,0	141,2	245,0	133	1281	1414

Tabelle 5 zeigt das Ergebniss dieser Messungen. Demnach verhalten sich Platten ganz ähnlich wie Kugeln von sehr grossem Durchmesser. Die Beobachtungen verlaufen aber weit regelmässiger, als bei Verwendung von Kugeln. Die Werthe von Q schwanken nur bis zu $\pm {}^1/_{50}$. A. Macfarlane wies bereits bei seinen ersten, im Jahre 1877 ausgeführten Potentialbestimmungen auf diesen Umstand hin.

c) Spitzen. — Zu Entladungsversuchen, bei denen es darauf ankommt, die Electricität möglichst in Punkten zu concentriren, wie z. B. bei Durchbohrung von isolirenden Materialien, bei Erzeugung eines Funkenstromes in Flüssigkeiten u. s. w. werden spitzenförmige Electroden an der Unterbrechungsstelle des Schliessungsbogens angewendet.

Warren de la Rue und Müller haben bei ihren Versuchen über die Funkenbildung vermittelst der grossen Batterie von Chlorsilberelementen bereits den Einfluss von Spitzen — allerdings in sehr engen Grenzen für die Funkenstrecke — untersucht. Diese Beobachter halten Spitzen von der Form eines Paraboloides am geeignetsten zur Erzielung grosser Schlagweiten.

Anschliessend an die Entladungen zwischen immer kleiner werdenden Kugelelectroden wurden auch Spitzen als Electroden benutzt, um gewissermassen den Grenzfall zu haben. Die Electroden waren kleine, spitze Rotationskegel von 1 cm Höhe und 0,5 cm Durchmesser der Bodenfläche, welche durch eine angedrehte Halbkugel abgerundet war. Das Material zu den Spitzen war wieder Messing. — Die Entladungsversuche wurden ganz wie früher ausgeführt. Bald nach dem Beginn der Versuchsbatterie war im Dunkeln Glimmlicht an den Spitzen bemerkbar, bis bald darauf mit schwach

Tabelle 6.

Spitzen.

Schlagw. in cm	Scalenausschlag n_1	n_2	Electricitätsmenge $10^6 . q_1$	$10^6 . q_2$	$10^6 . Q$
0,1	25,1	30,4	24	159	183
0,2	49,8	35,1	47	184	230
0,3	37,7	43,2	35	226	261
0,4	44,8	47,9	42	251	293
0,5	51,9	49,7	49	260	309
0,6	59,1	53,7	56	281	336
0,8	49,8	66,8	47	349	396
1,0	40,8	73,5	38	384	423
1,5	30,1	88,0	28	460	489
2,0	22,5	91,1	21	476	498
2,5	20,0	95,7	19	501	520
3,0	17,6	102,4	17	536	552
3,5	17,0	107,5	16	562	578
4,0	15,6	111,9	15	585	600
4,5	14,0	116,3	13	608	621
5,0	11,9	120,5	11	630	641

zischendem Geräusche eine Funkenentladung vor sich ging, die eine Ablenkung des Galvanometers G_1 hervorbrachte. Alsbald wurde dann die Batterie durch das Galvanometer G_2 vollends entladen. Die Tabelle 6 zeigt das Ergebniss der Versuche. (Vgl. Fig. 5.)

Es ist die im Funken übergehende Menge q_1 immer sehr klein; dieselbe wächst anfangs mit zunehmender Schlagweite und nimmt dann allmählich wieder ab, während der Entladungsrückstand q_2 fortgesetzt, späterhin freilich sehr wenig, anwächst. Die Gesammtmenge steigt demnach erst rasch, später aber nur langsam. Der Verlauf von Q hat Aehnlichkeit mit einer Parabel, deren Axe mit der Abscissenaxe, auf welcher die Schlagweiten aufzutragen wären, zusammenfällt.

Aus den Zahlen der Tab. 6 und besonders aus den Diagrammen in Fig. 5 ist ein unerwarteter, ziemlich regelmässiger Verlauf der Beobachtungen ersichtlich. Wie aus einem der Beobachtungssätze (Tabelle 7) hervorgeht, weichen die einzelnen Werthe von Q vom angegebenen Mittel nur wenig mehr als 1 Proc. ab. Die Mittel aus derartigen Mitteln (wie in Tab. 6 Col. 6) sind bis auf $^1/_{110}$ ihres Werthes sicher.

Tabelle 7.

Spitzen. Schlagweite = 2,0 cm.

Scalenausschlag		Electricitätsmenge		
n_1	n_2	$10^7 . q_1$	$10^7 . q_2$	$10^7 . Q$
22,5	92,1	212	4817	5029
21,7	90,6	204	4738	4942
23,3	90,0	219	4707	4926
22,4	91,8	211	4801	5012
22,5	91,1	212	4765	4977

V. Die resultirenden Potentialdifferenzen.

Das Ergebniss des vorigen Abschnitts — zahlenmässig wiedergegeben in den Tabellen 4, 5 und 6 — gestattet mit dem des Abschnitts III ohne weiteres die Berechnung der gewünschten Potentialdifferenzen $V = Q/\varkappa$ in Volts. Die Tabelle 8 enthält das durch die vorliegende Untersuchung angestrebte Ziel; sie gibt die zu einer Funkenbildung in Luft zwischen den zumeist verwendeten Electrodenformen

erforderliche Potentialdifferenz in Volts für Schlagweiten bis zu 5 cm.

Tabelle 8.

Schlagweite in cm	Potential in Volts							
	Spitzen	Kugeln Durchmesser in cm						Platten
		0,50	0,75	1,0	2,0	4,0	6,0	
0,1	3720	5050	—	4660	4560	—	4530	4340
0,2	4700	8600	9700	9500	8700	8400	7900	7500
0,3	5300	11100	12500	11700	11600	11200	10500	10700
0,4	6000	13500	14100	14000	14400	14200	12800	13700
0,5	6300	15100	16600	16800	17000	16600	16400	16300
0,6	6900	16600	18400	19300	19500	20100	19200	19100
0,7	—	17900	19900	21000	22500	23200	22600	—
0,8	8100	18400	20900	23200	24600	25800	26000	24500
0,9	—	19300	21300	25100	27200	27800	28800	—
1,0	8600	19500	22100	25800	29000	29900	31600	28800
1,1	—	19800	23000	26400	30900	31900	32800	—
1,2	—	21400	24800	27900	32700	34200	35000	—
1,3	—	22000	25800	28200	—	—	36700	—
1,4	—	22500	26200	28500	—	—	41400	—
1,5	9900	23100	27200	29500	—	—	—	—
1,6	—	23200	28300	30900	—	—	—	—
1,8	—	23800	28600	34600	—	—	—	—
2,0	10100	24600	29100	35400	—	—	—	—
2,2	—	25700	29500	36000	—	—	—	—
2,4	—	26600	30000	37200	—	—	—	—
2,6	—	27400	30500	—	—	—	—	—
2,8	—	27900	30800	—	—	—	—	—
3,0	11200	28400	31200	—	—	—	—	—
3,5	11800	29200	31900	—	—	—	—	—
4,0	12200	29600	32400	—	—	—	—	—
4,5	12700	29900	33500	—	—	—	—	—
5,0	13100	30700	34100	—	—	—	—	—

Die grösste gemessene Potentialdifferenz beträgt 41400 Volts; dieselbe war zur Bildung eines 1,4 cm langen Funkens zwischen den Kugeln von 6 cm Durchmesser nothwendig. Die Electricitätsmenge, welche zur Erreichung so hoher Spannungen der Versuchsbatterie zuzuführen war, — die hier immerhin nur wenig mehr als 1/500 Coulomb betrug — machte sich vor Eintritt der Funkenentladung durch bedenkliches Knistern in der Batterie und im Dunkeln wahrzunehmende Lichterscheinungen bemerkbar; es war bei diesen Versuchen selbstverständlich grosse Vorsicht geboten. Mit Hülfe der benutzten zwanzigscheibigen Influenzmaschine von Toepler wären leicht noch höhere Potentialdifferenzen zu

erzielen gewesen, hätte dies die Beschaffenheit der Versuchsbatterie gestattet. Wie bereits erwähnt, entlud sich die Batterie bei etwas höherem Potential über den unbelegten Rand derselben. Blasen enthaltende Batteriegläser können hierbei durchschlagen werden.

Mit recht dickwandigen, nicht hoch belegten Leydener Flaschen lassen sich Funkentladungen von noch grösserer Potentialdifferenz erzielen und messen, wovon ich mich nachträglich durch etliche Versuche mit Flaschen von 5 mm Wandstärke und passender Belegung überzeugte.

Tabelle 9.

Schlagweite in cm	Potential in electrostatischen Einheiten (C.-G.-S.)							
	Spitzen	Kugeln Durchmesser in cm						Platten
		0,50	0,75	1,0	2,0	4,0	6,0	
0,1	12,4	16,8	—	15,5	15,2	—	15,1	14,5
0,2	15,6	28,6	32,5	31,7	29,0	27,9	26,2	25,1
0,3	17,7	37,2	41,8	38,9	38,5	37,3	34,9	35,6
0,4	19,9	45,2	46,9	46,6	48,0	47,5	42,5	45,6
0,5	21,0	50,5	55,3	56,0	56,8	55,5	54,7	54,3
0,6	22,8	55,3	61,4	64,2	64,9	66,9	64,0	63,5
0,7	—	59,8	66,3	69,9	75,1	77,2	75,3	—
0,8	26,9	61,2	69,7	77,4	82,1	86,1	86,7	81,6
0,9	—	64,2	70,9	83,7	90,8	92,8	95.9	—
1,0	28,9	65,0	73,8	85,9	96,8	99,5	105,4	96,0
1,1	—	66,1	76,5	88,2	103,1	106,3	109,5	—
1,2	—	71,2	82,6	92,0	108,9	114,1	116,7	—
1,3	—	73,5	86,0	93,8	—	—	122,4	—
1,4	—	75,0	87,3	95,1	—	—	137,9	—
1,5	33,2	76,9	90,7	98,4	—	—	—	—
1,6	—	77,7	94,4	102,9	—	—	—	—
1,8	—	79,3	95,3	115,2	—	—	—	—
2,0	33,8	81,9	97,1	117,9	—	—	—	—
2,2	—	85,6	98,3	120,0	—	—	—	—
2,4	—	88,6	100,2	123,9	—	—	—	—
2,6	—	91,4	101,6	—	—	—	—	—
2,8	—	93,0	102,7	—	—	—	—	—
3,0	37,5	94,6	103,9	—	—	—	—	—
3,5	39,3	97,2	106,3	—	—	—	—	
4,0	40,7	98,6	108,0	—	—	—	—	—
4,5	42,2	99,6	111,5	—	—	—	—	—
5,0	43,5	102,3	113,6	—	—	—	—	—

Um die Zahlen der Tab. 8 bequemer und zugleich mit den durch die Messungen anderer Beobachter vermittelst des absoluten Electrometers erhaltenen direct vergleichbar zu machen, sind dieselben in electrostatische absolute Einheiten

des (C.-G.-S.)-Systems umgerechnet worden, und zwar durch die Division $Q/300\varkappa$, nicht aus den bereits abgerundeten Werthen der Tab. 8. (vgl. Tab. 9.)

Die Zahlen in den Tabellen 8 und 9 lehren, dass für alle Electrodenarten das Potential mit wachsender Schlagweite in ganz verschiedenem Maasse zunimmt. Man erkennt jedoch durchweg, dass bei Vergrösserung der Schlagweite um einen bestimmten Werth bei kleinen Funkenstrecken ein grösserer Potentialzuwachs erforderlich ist, als bei grösseren. Bei grösseren Funkenstrecken wird diese Zunahme mehr oder weniger constant. In Fig. 6 ist der Verlauf der Potentialwerthe für etliche charakteristische Electroden wiedergegeben. Die Abscissen bedeuten die Funkenlängen, die Ordinaten die zugehörigen Potentialwerthe.

Was zunächst die für vollkommene Spitzen erhaltene Curve anbelangt, so ist deren Aehnlichkeit mit einem Parabelzweig nicht zu verkennen. Die Potentialwerthe wachsen hier nur anfangs wesentlich mit der Schlagweite und erreichen selbst für die grössten Schlagweiten verhältnissmässig kleine Werthe. Warren de la Rue und H. Müller fanden bereits, dass für parabolische Spitzen die Schlagweite nahezu proportional mit dem Quadrate der Potentialdifferenz zunimmt.

Die Potentialdifferenzen für den Funkenübergang zwischen Kugeln zeigen zunächst auffallend den Einfluss des Kugeldurchmessers und lassen ferner die Eigenschaft erkennen, dass es für jede Schlagweite ein Kugelpaar bestimmter Grösse gibt, für welches das Potential ein Maximum wird. Das Maximum rückt mit zunehmender Schlagweite von links nach rechts. Dementsprechend schneiden sich die Curven für die verschiedenen Kugelelectroden. Fig. 6 zeigt den Verlauf der V-Werthe für drei Kugelpaare; mit wachsendem Kugeldurchmesser nähern sich die Curven einer Geraden. So lässt sich z. B. die für die 6 cm-Kugeln erhaltene Curve mit einer aus der Tabelle 10 erkennbaren Annäherung durch die Gerade:

$$V = 92{,}7 \,.\, d + 8{,}1$$

ersetzen.

Tabelle 10.

Kugeln von 6 cm D.

Schlagw. in cm d	Potential V beobacht.	berechnet	Schlagw. in cm d	Potential V beobacht.	berechnet
0,1	15,1	17,4	0,8	86,7	82,3
0,2	26,2	26,6	0,9	95,9	91,5
0,3	34,9	35,9	1,0	105,4	100,8
0,4	42,5	45,2	1,1	109,5	110,1
0,5	54,7	54,5	1,2	116,7	119,3
0,6	64,0	63,7	1,3	122,4	128,5
0,7	75,3	73,0	1,4	137,9	137,8

Die Herren Foster und Pryson[1]), welche mit einem absoluten Electrometer dergleichen Potentialbestimmungen unter Verwendung von Messingkugeln von nur 1,35 cm Durchmesser vorgenommen haben, stellen ihre Versuchsergebnisse durch eine Gerade mit der Gleichung:

$$V = 102 \,.\, d + 7{,}07 \text{ dar.}$$

Für die bei Benutzung von Platten erzielten Potentialwerthe gilt dasselbe, was für Kugelelectroden von grossem Durchmesser ausgesagt worden ist. In wie weit man berechtigt ist, die beobachteten V-Werthe durch eine lineare oder quadratische Relation wiederzugeben, lässt sich aus der Tabelle 11 entnehmen. Diese empirischen Gleichungen haben natürlich keine Bedeutung und einen geringen Werth.

Tabelle 11.

Platten.

Schlagw. d in cm	Potential V beobachtet	berechnet nach der Formel: $V = 90{,}98 \,.\, d + 7{,}67$	$V = 82{,}08 \,.\, \sqrt{d^2 + 0{,}3876 \,.\, d}$
0,1	14,5	16,8	18,1
0,2	25,1	25,9	28,1
0,3	35,6	35,0	37,3
0,4	45,6	44,1	46,1
0,5	54,3	53,2	54,7
0,6	63,5	62,3	63,2
0,8	81,6	80,5	80,0
1,0	96,0	98,6	96,7

1) Foster u. Pryson, Phys. Soc. Chem. News 49. p. 114. 1884.

Genauigkeit der Bestimmungen.

Aus der Beziehung $V = Q/\varkappa$ folgt:

$$\frac{dV}{V} = \frac{dQ}{Q} - \frac{d\varkappa}{\varkappa}.$$

In dem relativen Fehler von V summiren sich einfach die relativen Fehler der Entladungsmenge Q und der Capacität $\varkappa$. Die Unsicherheit des ersten Werthes beträgt 1 bis 2 Proc., die des letzteren 5 Proc. (s. p. 15), also kann die der V-Werthe auf 6—7 Proc. steigen.

VI. Vergleichung der Resultate verschiedener Beobachter.

Soweit mir bekannt wurde, waren es Macfarlane und nach ihm Baille, welche zuerst ausführlich den Einfluss der Electroden auf das explosive Potential zahlenmässig festzustellen suchten. Andere Beobachter haben nur gelegentlich zu einem weiteren Verfolg ihrer Untersuchungen etliche solche Bestimmungen gemacht. Unlängst hat noch Herr Paschen für drei Paar kleine Kugelelectroden die Messungen wiederholt, und zwar unter Verwendung eines geaichten Righischen Reflexionselectrometers.

Tabelle 12.

Schlagweite in cm	Potential nach verschiedenen Beobachtern für Kugeln vom Durchm.: 1 cm				2 cm		6 cm	
	Baille[1]	Bichat[2] und Blondlot	Paschen[3]	Freyberg	Quincke[4]	Freyberg	Baille[1]	Freyberg
0,1	15,3	14,0	16,1	15,5	14,8	15,2	14,8	15,1
0,2	26,8	27,1	27,8	31,7	26,4	29,0	25,6	26,2
0,3	37,3	36,2	38,9	38,9	37,3	38,5	36,1	34,9
0,4	45,5	47,1	49,4	46,6	46,7	48,0	45,0	42,5
0,5	54,7	56,0	60,1	56,0	56,4	56,8	55,1	54,7
0,6	65,2	64,5	69,4	64,2	66,6	64,9	65,2	64,0
0,7	72,3	70,1	78,9	69,9	75,3	75,1	75,4	75,3
0,8	77,6	77,3	—	77,4	83,9	82,1	88,0	86,7
0,9	80,1	81,8	—	83,7	—	90,8	97,4	95,9
1,0	83,1	86,0	—	85,9	—	96,8	112,9	105,4

1) Baille, Ann. de chim. et de phys. [5]. **25.** p. 531. 1882.
2) Bichat u. Blondlot. Electricien vom 4. Aug. 1886
3) Paschen, Wied. Ann. **37.** p. 69. 1889.
4) Quincke, Wied. Ann. **19.** p. 568. 1883.

Tabelle 12 gibt eine Zusammenstellung der bis jetzt erzielten Potentialwerthe für drei verschiedene Kugelpaare und Schlagweiten bis zu 1 cm. Die Zahlen weichen zum Theil nicht unbeträchtlich voneinander ab. Immerhin zeigen die durch die galvanometrische Bestimmungsweise der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Zahlen mit den bekannten electrometrisch erhaltenen keine grösseren Abweichungen, als diese untereinander erkennen lassen. Auffallend war nur, dass für kleine Schlagweiten die von mir gefundenen Werthe fast ausnahmslos grösser ausgefallen sind als bei anderen Beobachtern, von diesen E. Mascart[1]) allein ausgenommen, welcher für Kugeln von 2,2 cm Durchmesser bei der Schlagweite $d = 0{,}1$ cm $V = 18{,}3$ und bei $d = 0{,}5$ cm $V = 89{,}1$ fand.

Nach den unlängst bekannt gewordenen Untersuchungen von Jaumann (l. c.) sind die Abweichungen der Resultate verschiedener Beobachter im allgemeinen erklärt. Dieselben haben ihren Grund in den verschiedenen Versuchsanordnungen, welche mehr oder weniger geeignet waren, die Schwankungen der benutzten Stromquelle (gewöhnlich eine Influenzmaschine) zu dämpfen. Eine nähere kritische Betrachtung der vorliegenden Zahlen lässt sich nicht durchführen, da Angaben über die Absolutgrösse der Capacität der von den verschiedenen Beobachtern verwendeten Condensatoren fehlen.

Tabelle 13.

Platten.

Schlagweite d in cm	Potential V			
	Macfarlane[2])	Baille[3])	Warren de la Rue[4]) u. Müller	Freyberg
0,1	11,69	14,67	14,42	14,48
0,2	19,05	25,51	25,26	25,13
0,3	26,06	35,35	34,56	35,57
0,4	32,93	44,77	—	45,55
0,5	39,75	54,47	—	54,31
0,6	46,52	63,82	—	63,53
0,8	60,02	84,86	—	81,55
1,0	73,48	105,49	—	96,00

1) Mascart, Traité d'électricité statique **2.** p. 87 u. 93. 1876.
2) Macfarlane, Phil. Mag. [5] **10.** p. 394. 1880.
3) Baille, Ann. de chim. et de phys. [5] **25.** p. 531. 1882.
4) Warren de la Rue u. Müller, Proc. Roy. Soc. **36.** p. 151. 1884.

Eine Zusammenstellung der für Platten vorliegenden Resultate gibt Tabelle 13. Die Uebereinstimmung ist hier im allgemeinen eine bessere als bei Kugeln; nur Macfarlane's Werthe sind durchweg wesentlich kleiner ausgefallen.

Zu einer Vergleichung herbeizuziehende Potentialbestimmungen bei Entladungen zwischen vollkommenen Spitzen liegen meines Wissens nicht vor.

Lebenslauf.

Ich, Johannes Adolf Freyberg, Sohn des Oberlehrers Johann Gustav Adolf Freyberg, wurde am 24. Juni 1858 zu Riesa im Königreich Sachsen geboren. Nach dem Besuche der Bürgerschule meiner Vaterstadt und der K. W. Clauss'schen Gewerbschule in Dresden trat ich Ostern 1874 in die Königl. höhere Gewerbschule zu Chemnitz ein, an welcher Prof. A. Weinhold die Physik lehrte. Von Michaelis 1876 bis zum Schlusse des Sommersemesters 1881 studirte ich am Polytechnikum zu Dresden Mathematik und Physik und besuchte die Vorlesungen bez. Uebungen der Herren Professoren Burmester, Härnack, Königsberger, von der Ropp, Ruge, Schmitt, Schultze, Stern, Toepler, Voss, Zeuner. Im October 1881 unterzog ich mich in Dresden der Staatsprüfung für das höhere Lehramt in der mathematisch-physikalischen Section, und wurde im November desselben Jahres als Assistent am physikalischen Laboratorium des Dresdener Polytechnikums angestellt. In diesem Amte hatte ich unter anderem Gelegenheit, bei dem Umbau und der Neueinrichtung der physikalischen Sammlung, wie der Laboratorien thätig zu sein. Zwei Jahre hindurch, von Ostern 1886 bis Ostern 1888 war ich mit den Demonstrationen im Physik- und Chemie-Unterrichte Ihrer Königl. Hoheiten der Prinzen Johann Georg und Max, Herzöge zu Sachsen, betraut. Im Wintersemester 1887/88 wurde ich vom Königl. Sächs. Ministerium des

Cultus und öffentlichen Unterrichts mit der Abhaltung eines zweistündigen Collegs über: „Electrische Messkunde“, sowie der „Electrotechnischen Uebungen“ beauftragt, wie mir auch im Sommersemester 1888 nach der ernstlichen Erkrankung des Hrn. Geh. Hofrath Prof. Toepler die Leitung des physikalischen Praktikums übertragen wurde.

Seit Michaelis 1888 bin ich an der Kaiser-Wilhelms-Universität Strassburg immatriculirt und höre die Vorlesungen der Herren Professoren Christoffel, Cohn, Kohlrausch, Lorberg, Reye. Gleichzeitig wurde mir von Hrn. Prof. Fr. Kohlrausch die Hülfsassistentenstelle am physikalischen Institute übertragen.

Allen meinen verehrten Lehrern spreche ich meinen verbindlichsten Dank aus.

Fig. 1.

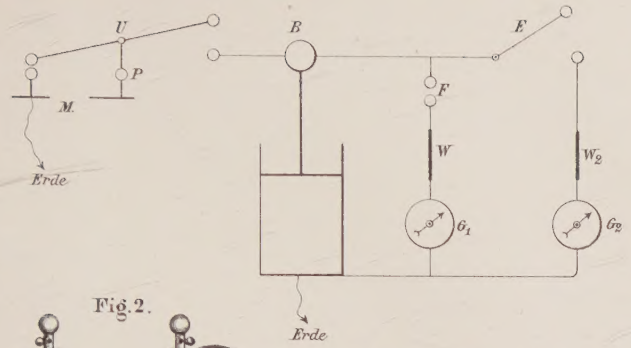

Fig. 2.

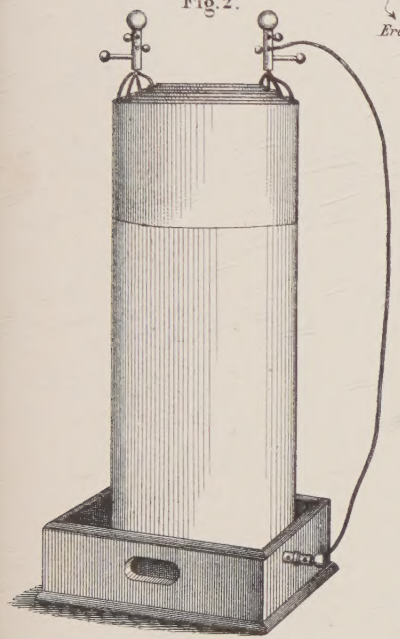

Fig. 6.

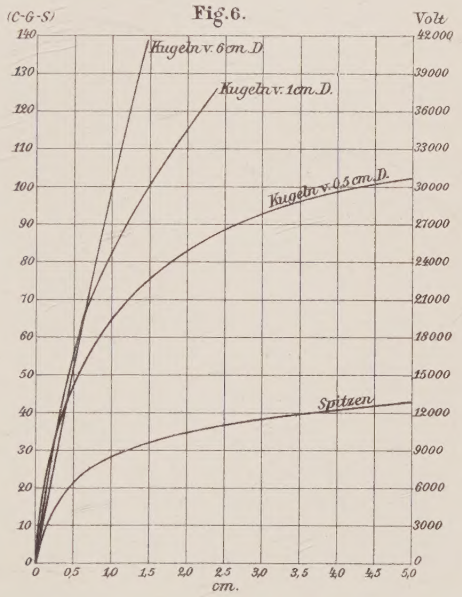

Fig. 5.
Spitzen.

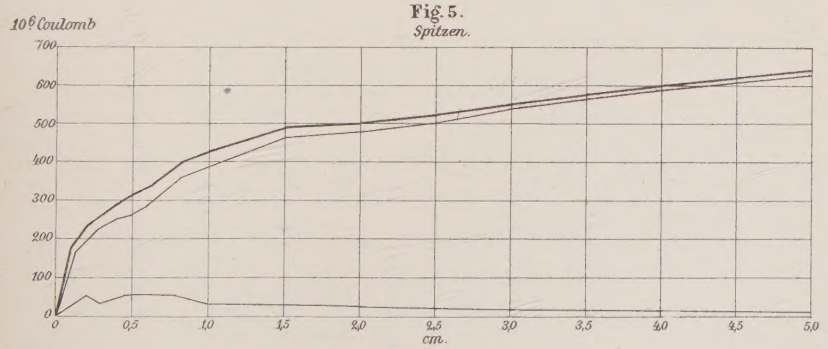

Fig. 3.
Kugeln v. 1 cm. D.

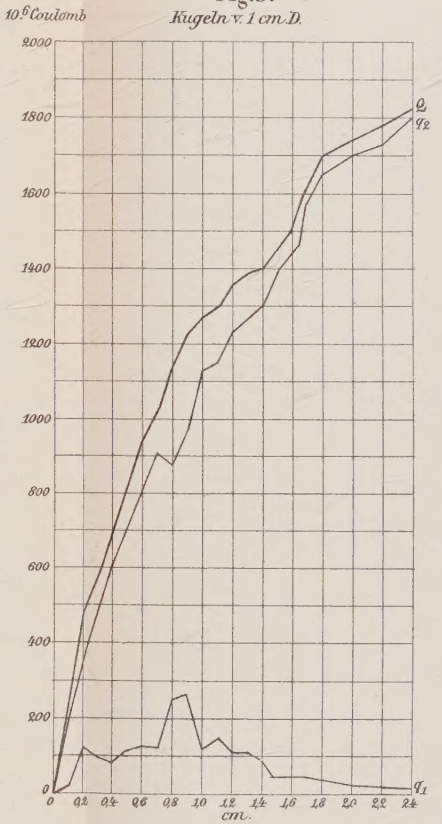
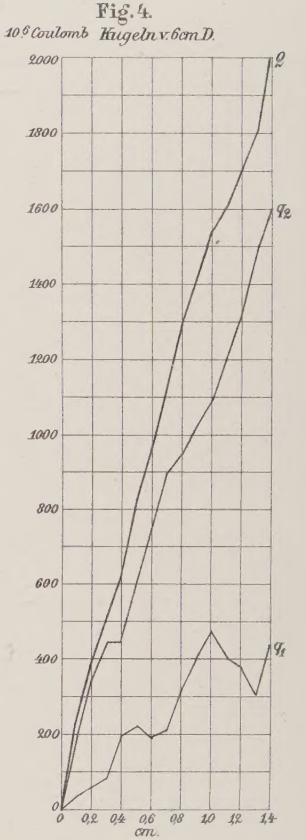
Fig. 4.
Kugeln v. 6 cm. D.